

Заготовка 1 (рис. 1) має прямокутний переріз 20х40 та виготовлена з латуні марки Л90, температура валків 1 та заготовки 2 складає 20 °С.

При моделюванні прокатки в ANSYS Workbench вказуємо матеріал: валків – конструкційна сталь, заготовки – латунь. Так як в заготовці при прокатці будуть відбуватися значні пластичні деформації, то її матеріал задаємо з властивостями для нелінійних завдань.

Весь процес моделювання поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench виконувався в модулі Static Structural.

Параметри жорсткості матеріалу валків та заготовки задаємо, як Flexible (пружні).

Тип контакту поверхні валків з поверхнею заготовки –Frictional, коефіцієнт тертя 0,2 (рис. 2 а). Також в валках задаємо контакт виду «шарнір» (Joint) з типом зв'язку «обертання» (Revolute) між гранню та «землею» (Body-Ground) – рис. 2 б

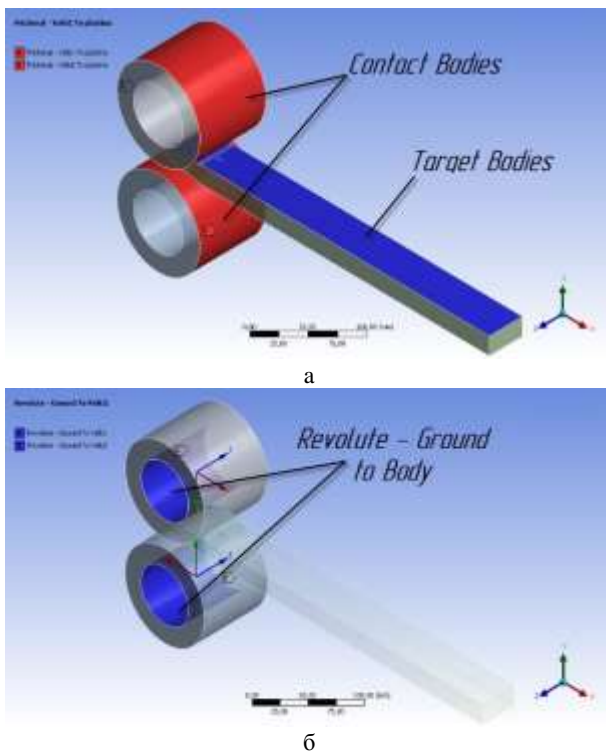
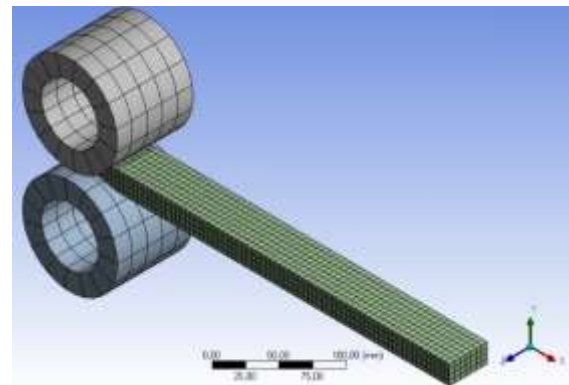


Рисунок 2 - Схема контактів моделі поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench: а, б – тими систем зв'язків

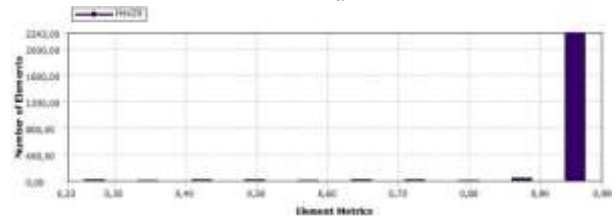
Щоб врахувати великі переміщення в заготовці активуємо пункт «Великі переміщення» (LargeDeflection - on) в вітці AnalysisSettings. Це дасть можливість враховувати нелінійні ефекти та змінювати жорсткість конструкції при зміні форми заготовки програмі автоматично.

Для формування сітки кінцевих елементів заготовки обираємо метод Sweep, розмір елементів 5 мм. Сітку для валків будуємо шляхом завдання кількості ліній розбивання – 15 (параметр Number of Divisions). В результаті отримуємо сітку кінцевих елементів моделі поздовжньої прокатки в ANSYS

Workbench – рис. 3 а, з прийнятними характеристиками сітки – рис. 3 б.



а



б

Рисунок 3 - Схема розбиття на сітку кінцевих елементів в ANSYS Workbench: а – моделі поздовжньої прокатки; б – характеристики сітки

Задаємо закріплення заготовки (Displacement) дозволяючи тільки переміщення по осі X. Зусилля в шарнірах (Joint Load) обираємо типу «Обертання» (Rotation) на кут для кожного валка в 180° чи -180° в залежності від необхідного напрямку обертання – рис. 4

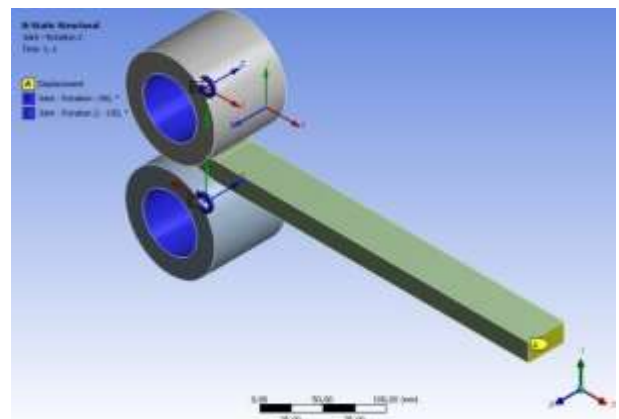


Рисунок 4 - Схема закріплення та навантаження моделі поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench

Для моделювання досліджуваної схеми прокатки в QForm активуємо модуль QForm Rolling, завантажуюмо геометрію та позиціонуємо елементи, задаємо вісі, матеріал та температуру заготовки і валків. Зазначаємо, що змащування відсутнє (Unlubricated). Тип приводу створюємо «Універсальний» задаючи для кожного валка кут, напрям та швидкість обертання навколо своєї вісі.

Результати моделювання. В результаті моделювання поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench отримуємо (розглядалася тільки заготовка):

- деформації заготовки по осі Z відносно середини, що складають максимально 2,68 мм по краях моделі (рис. 5)

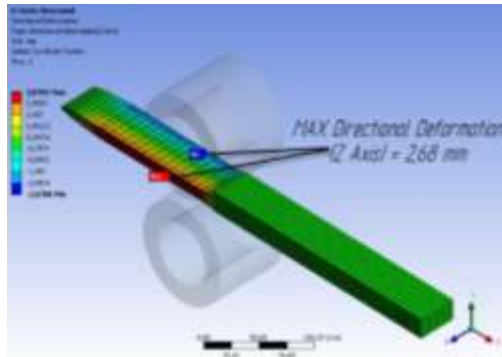


Рисунок 5 - Деформації заготовки по осі Z відносно середини при моделюванні прокатки в ANSYS Workbench

- максимальні еквівалентні напруження 1154-1192 МПа в місці деформації заготовки валками (рис. 6 а та б)

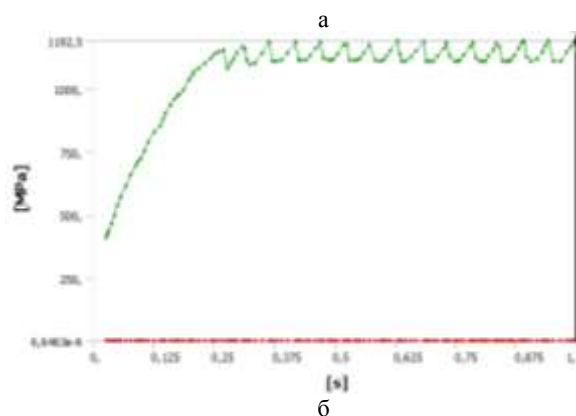
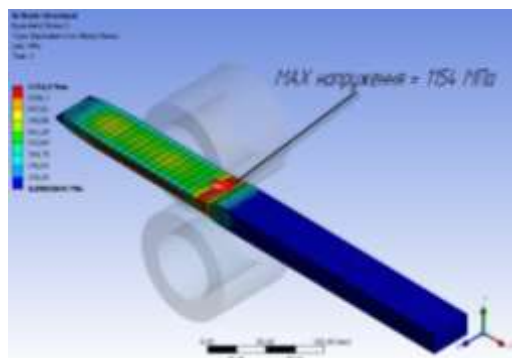


Рисунок 6 - Еквівалентні напруження в заготовці, що виникають при моделюванні поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench: а – розподілення напружень в заготовці, б – графік зміни максимальних та мінімальних напружень в заготовці за час 1 с

- еквівалентні пластичні відносні деформації заготовки складають максимально 0,73 (рис. 7)

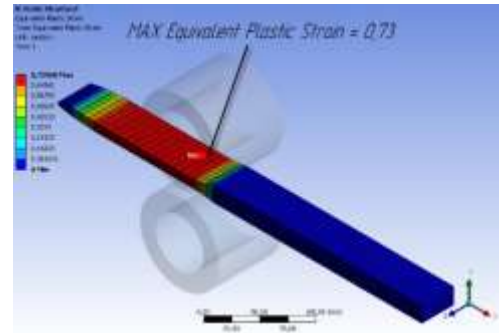


Рисунок 7 - Еквівалентні пластичні відносні деформації заготовки при моделюванні поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench

В результаті моделювання прокатки в QForm отримуємо (розглядалася тільки заготовка):

- нагрів заготовки до температури 56 °С;
- розподілення інтенсивності напружень в заготовці – рис. 8

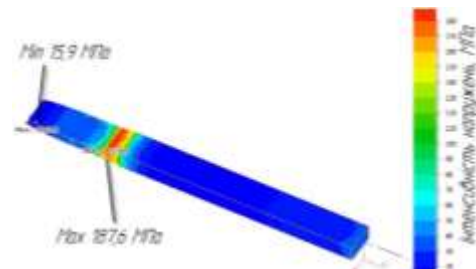


Рисунок 8 - Розподілення інтенсивності напружень в заготовці при моделюванні поздовжньої прокатки в QForm

- пластичні деформації в заготовці – рис. 9

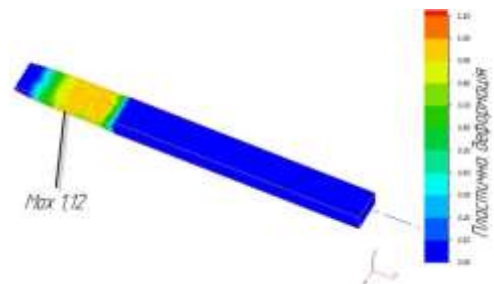


Рисунок 9 - Пластичні деформації в заготовці при моделюванні поздовжньої прокатки в QForm

Порівнюючи результати моделювання поздовжньої прокатки при однакових умовах в ANSYS Workbench (модуль Static Structural) та QForm отримуємо:

- значно вищі напруження (в 5 разів) при моделюванні моделі ANSYS Workbench (див. рис. 6 та 8);
- вищі пластичні деформації на 35 % при моделюванні моделі в QForm (див. рис. 7 та 9).

Висновки. ANSYS Workbench (модуль Static Structural) використовується для моделювання процесів переважно в пружно-пластичній зоні деформацій. Використання даного модуля в пластичній зоні деформації, як показало моделювання наведене в

даній роботі, призведе до значних погрешностей в результатах. Моделювання прокатки в QForm дало очікувані результати, наближені до реальних. Напевне, сходиність результатів моделювання прокатки в ANSYS Workbench модулях Transient Structural або Explicit Dynamics з QForm буде краща, але це потребує подальших досліджень.

Список литературы

1. Горбунов И.В., Ефременков И.В., Леонтьев В.Л., Гисметулин А.Р. Особенности моделирования процессов механической обработки в САЕ-системах. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Самара, 2013. т.15, №4(4), С. 846-852.
2. Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, моделирование металлургических процессов*. Магнитогорск, 2012. №4, С. 72-74.
3. Поляков С.А., Аксенов С.А., Бобер И.В. и др. Математическое моделирование в нелинейной механике. *ИКИ РАН ГОУ ВПО «Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)»*. Москва, 2009. 42 с.
4. Руденко Н. А. Моделирование процесса прессования порошковых изделий. *Обработка материалов давлением*. 2016. № 2. С. 46-50.
5. Губський С. О., Цебенко М.В., Окунь А.О. Дослідження напруженого деформованого стану металокопункції стелю механізму підйому вантажу. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Технології в машинобудуванні*. Харків : НТУ "ХПІ", 2018. № 6 (1282). С. 50-54.
6. QForm 2D/3D Програма для моделювання процесів обробки металів тиском. *ООО «КванторФорм»*. Москва, 2017. ч. 1-4.
7. http://studvesna.ru/db_files/articles/179/article.pdf.
8. Горохов Ю.В., Константинов И.Л. Компьютерное моделирование процессов горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Тула, 2017. Вып.11, ч.1, С. 101-109.
9. <http://www.artech-eng.ru/images/stories/Stat/DEFORM/Orel1.pdf>.
10. Bandini C., Reggiani B., Donati L., Tomesani L. Code Validation and Development of User Routines for Microstructural Prediction with Qform. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 2. Issue 10. Part A. 2015. P. 4904-4914.
11. Łukaszek-Solek A., Krawczyk J., Śleboda T., Grelowski J. Optimization of the hot forging parameters for 4340 steel by processing maps. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 8. Issue 3. May–June 2019. P. 3281-3290.

12. Alimov A., Evdokimov D., Evsyukov S. Temperature and strain rate dependent friction model for hot forming of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Materialstoday: Proceedings*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.059>.

References (transliterated)

1. Gorbunov I.V., Yefremenkov I.V., Leont'yev V.L., Gismetulin A.R. Osobennosti modelirovaniya protsessov mekhanicheskoy obrabotki v CAE-sistemakh. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. Samara, 2013. t.15, №4(4), pp. 846-852.
2. Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boyko A.B. Analiz programmnykh kompleksov dlya rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kompozitsionnykh materialov v protsessakh obrabotki davleniyem. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova, modelirovaniye metallurgicheskikh protsessov*. Magnitogorsk, 2012. №4, pp. 72-74.
3. Polyakov S.A., Aksenov S.A., Bober I.V. i dr. Matematicheskoye modelirovaniye v nelineynoy mekhanike. *IKI RAN GOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy institut elektroniki i matematiki (tekhnicheskiiy universitet)»*. Moskva, 2009. 42 p.
4. Rudenko N. A. Modelirovaniye protsessa pressovaniya poroshkovykh izdeliy. *Obrabotka materialov davleniyem*. 2016. № 2. pp. 46-50.
5. Gubskiy S. O., Tsebenko M.V., Okun A.O. Doslidzhennya napruzhеного deformovanoho stanu metalokonstrukttsiyi stendy mekhanizmu pidyomu vantazhu. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KHPI" : zb. nauk. pr. Ser. : Tekhnolohiyi v mashynobuduvanni*. Kharkiv : NTU "KHPI", 2018. № 6 (1282). pp. 50-54.
6. QForm 2D/3D Programma dlya modelirovaniya protsessov obrabotki metallov davlenim. *ООО «KvantorForm»*. Moskva, 2017. ch. 1-4.
7. http://studvesna.ru/db_files/articles/179/article.pdf.
8. Gorokhov Y.V., Konstantinov I.L. Komp'yuternoye modelirovaniye protsessov goryachey ob'yemnoy shtampovki alyuminiyevykh splavov. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. Tula, 2017. Vyp.11, ch.1, pp. 101-109.
9. <http://www.artech-eng.ru/images/stories/Stat/DEFORM/Orel1.pdf>.
10. Bandini C., Reggiani B., Donati L., Tomesani L. Code Validation and Development of User Routines for Microstructural Prediction with Qform. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 2. Issue 10. Part A. 2015. P. 4904-4914.
11. Łukaszek-Solek A., Krawczyk J., Śleboda T., Grelowski J. Optimization of the hot forging parameters for 4340 steel by processing maps. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 8. Issue 3. May–June 2019. P. 3281-3290.
12. Alimov A., Evdokimov D., Evsyukov S. Temperature and strain rate dependent friction model for hot forming of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Materialstoday: Proceedings*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.059>.

Поступила (received) 23.04.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Губський Сергій Олександрович (Губский Сергей Александрович, Sergii Gubskiy) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-9139>; тел.: (066) 219-20-50; e-mail: Gubskiyso@gmail.com.

Чухліб Віталій Леонідович (Чухлеб Виталий Леонидович, Chukhlib Vitalij Leonidovich) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6176-0917>; тел.: (095) 792-55-92; e-mail: profdnepro@gmail.com.

Біба Микола Вікторович (Биба Николай Викторович, Mykola Biba) – кандидат технічних наук, директор MICAS Simulations Ltd; м. Оксфорд, Велика Британія; e-mail: nick@qform.com.

Окунь Антон Олександрович (Окунь Антон Александрович, Anton Okun) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6467-4229>; тел.: (067) 578-63-17; e-mail: okunanton@gmail.com.

Басова Євгенія Володимирівна (Басова Евгения Владимировна, Yevheniia Basova) – кандидат технічних наук, доц. кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8549-4788>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com.